

日本国特許庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

JC825 U.S. PTO  
09/680513



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。  
This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office.

出願年月日  
Date of Application:

1998年 4月20日

出願番号  
Application Number:

平成10年特許願第125272号

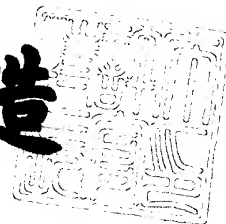
出願人  
Applicant(s):

株式会社ニコン

2000年 7月14日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3055167

【書類名】 特許願

【整理番号】 97P02102

【提出日】 平成10年 4月20日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/027

【発明の名称】 露光量制御方法及び露光装置

【請求項の数】 5

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株式会社 ニコ  
ン内

【氏名】 菊地 貴久

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株式会社 ニコ  
ン内

【氏名】 根井 正洋

【特許出願人】

【識別番号】 000004112

【氏名又は名称】 株式会社 ニコン

【代理人】

【識別番号】 100102901

【弁理士】

【氏名又は名称】 立石 篤司

【電話番号】 03-3354-4251

【代理人】

【識別番号】 100099793

【弁理士】

【氏名又は名称】 川北 喜十郎

【電話番号】 03-5362-3180

【手数料の表示】

【納付方法】 予納

【予納台帳番号】 053132

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【書類名】 明細書

【発明の名称】 露光量制御方法及び露光装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光源からの露光光で照明されたパターンを光学系を用いて基板上に転写する露光装置の露光量制御方法であって、

前記光学系に対する露光光の照射履歴に応じて、前記光学系の透過率の時間変化予測関数を決定する予測関数決定工程と；

前記決定した透過率の時間変化予測関数に基づいて、露光量を予測制御する工程とを含む露光量制御方法。

【請求項 2】 前記予測関数決定工程に先立って、前回の装置運転停止中の時間、その後の自己洗浄時の前記光学系に対する露光光の照射時間、露光光強度及び積算照射量を計測する工程を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の露光量制御方法。

【請求項 3】 前記光学系の環境条件を所定時間間隔で測定し、前記透過率の時間変化予測関数の決定に際してこれらを考慮することを特徴とする請求項 2 に記載の露光量制御方法。

【請求項 4】 前記光学系の透過率を所定間隔で測定する工程を更に含み、前記透過率測定の都度、前記透過率時間変化予測関数を補正することを特徴とする請求項 1～3 のいずれか一項に記載の露光量制御方法。

【請求項 5】 光源からの露光光で照明されたパターンを光学系を用いて基板上に転写する露光装置であって、

前記光学系に対する露光光の照射履歴に応じて、前記光学系の透過率の時間変化予測関数を決定する演算装置と；

前記演算装置で決定された透過率時間変化予測関数に基づいて、露光量を予測制御する露光量制御系とを備える露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、露光量制御方法及び露光装置に係り、更に詳しくは、半導体素子、

液晶表示素子等を製造するに際しフォトリソグラフィ工程で用いられる露光装置及び該露光装置の露光量制御方法に関する。

#### 【0002】

##### 【従来の技術】

従来より、半導体素子又は液晶表示素子等を製造するためのフォトリソグラフィ工程では、ステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（いわゆるステッパ）やこのステッパに改良を加えたステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置（いわゆるスキャニング・ステッパ）等の投影露光装置が主として用いられている。

#### 【0003】

この種の投影露光装置を構成する投影光学系の解像力は、Rayleighの式で良く知られているように、 $R = k \times \lambda / N.A.$  の関係で表される。ここで、 $R$ は投影光学系の解像力、 $\lambda$ は露光光の波長、 $N.A.$ は投影光学系の開口数、 $k$ はレジストの解像力の他にプロセスによって決定される定数である。

#### 【0004】

半導体素子の高集積化に伴い、投影光学系に要求される解像力はますます微細化し、これを実現するため、上式からも分かるように、露光光の短波長化や投影光学系の開口数を大きくする、いわゆる、高 $N.A.$ 化への努力が続けられている。近年では、248nmの出力波長を持つ弗化クリプトンエキシマレーザ（KrFエキシマレーザ）を露光用光源として、投影光学系の開口数も0.6以上の露光装置が実用化され、デバイスルール（実用最小線幅）0.25 $\mu$ mの露光が実現されている。

#### 【0005】

上述した従来の投影露光装置においては、露光光の照射によって光学系の透過率は変化しないとの前提の下、露光量制御は、次のようにして行われていた。すなわち、予め、投影光学系の前側でレチクルに照射される露光光の光量を照明光学系内に配置された光量モニタ（インテグレータセンサと呼ばれる）で測定するとともに、投影光学系の後側でレチクル及び投影光学系を透過した露光光の光量をウエハステージ上の光量モニタ、例えば照度計で測定し、インテグレータセンサ

と照度計の出力比を求めておく。そして、露光の際は、前記出力比を用いてインテグレータセンサの出力値からウエハ面（像面）の照度を推定し、この像面照度が所望の値となるように露光量をフィードバック制御する。

## 【0006】

## 【発明が解決しようとする課題】

最近では弗化クリプトンエキシマレーザに続く光源として、193nmの出力波長を持つ弗化アルゴンエキシマレーザ（ArFエキシマレーザ）が注目されてきている。この弗化アルゴンエキシマレーザを露光用光源とする露光装置が実用化されれば、デバイスルール0.18 $\mu$ m～0.13 $\mu$ mまで及ぶ微細なパターンを有するマイクロデバイスの大量生産が可能となることが期待されており、精力的な研究開発が盛んに行われている

## 【0007】

しかしながら、露光用光源としてArFエキシマレーザを用いる露光装置においては光学系（照明光学系及び投影光学系）の透過率が露光光の照射によって無視できないレベルで変化するという事実が判明した。最近の研究によると、光学系の透過率は、露光光の照射開始後徐々に増加してあるレベルまで増加すると飽和状態に達する、という特徴のあることがわかっている。

## 【0008】

このような変化は、レンズ等の光学素子の表面に付着した水分や有機物がArFエキシマレーザ光の照射によって光学系表面から取除かれる、洗浄効果によるものと考えられる。かかる洗浄効果は、KrFエキシマレーザ光の場合にも生じていたものと思われるが、ArFエキシマレーザ光の場合は、水等に対する透過率が低いため、水滴等がある場合と無い場合とで透過率の差が大きく、KrFエキシマレーザ光の場合にはそれ程大きくないために問題とならなかったものと思われる。

## 【0009】

光学系の透過率は露光光の照射によって変化しないことを前提とした上述した従来の露光量制御方法をそのまま採用できなくなってきた。

## 【0010】

本発明は、かかる事情の下になされたもので、その第1の目的は、スループットを不必要に低下させることなく、像面照度を常にほぼ所望の値に設定することができる露光量制御方法を提供することにある。

【0011】

また、本発明の第2の目的は、光学系の透過率変動の影響を受けることなく、高精度な露光を実現することができる露光装置を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】

本願の発明者等は、種々の実験によって得た透過率変化曲線を基に、解析を行った結果、ArFエキシマレーザ光（あるいはそれより短波長の照明光）を光源とする露光装置の露光中の光学系の透過率の時間変化と、前回の装置停止時からの露光光の照射履歴との間には、所定の関係のあることが判明した。

【0013】

本発明は、発明者等が得た上記の新規知見に基づいてなされたもので、以下のような構成を採用する。

【0014】

請求項1に記載の発明は、光源（16）からの露光光（EL）で照明されたパターンを光学系（28A、28B、32、PL）を用いて基板上に転写する露光装置の露光量制御方法であって、前記光学系に対する露光光の照射履歴に応じて、前記光学系の透過率の時間変化予測関数を決定する予測関数決定工程と；前記決定した透過率の時間変化予測関数に基づいて、露光量を予測制御する工程とを含む。

【0015】

ここで、予測関数決定工程において、光学系に対する露光光の照射履歴を考慮するのは、発明者等の研究の結果、光学系の透過率の変化率（変動率）が光学系に対する露光光の照射履歴に依存することが判ったからである。従って、本発明にいう時間変化予測関数は、光学系に対する露光光の照射履歴に依存するパラメータを含む式を意味する。

【0016】

従って、本発明によれば、光学系に対する露光光の照射履歴に即した光学系の透過率の時間変化予測関数が決定され、この決定された透過率の時間変化予測関数に基づいて、露光量が予測制御されるので、露光中に頻繁に透過率測定を行うことなく、予測制御により正確な露光量制御が可能となり、結果的にスループットを不必要に低下させることなく、像面照度（基板面照度）を常にほぼ所望の値に設定することができる。

## 【0017】

この場合において、請求項2に記載の発明の如く、前記予測関数決定工程に先立って、前回の装置運転停止中の時間、その後の自己洗浄時の前記光学系に対する露光光の照射時間、露光光強度及び積算照射量を計測する工程を含むことが望ましい。

## 【0018】

本明細書において、自己洗浄とは、装置運転開始後に行われる慣らし運転を意味する。これは装置の運転停止中に、光学系を構成する各レンズ素子の表面（光学薄膜表面）が汚染物質（有機系物質や水分）で汚染されるが、慣らし運転の際に、光学系に露光光が照射されることにより汚染物質が各レンズ素子表面から徐々に剥離される効果（洗浄効果）が生じるからである。なお、単に洗浄と呼ばないのは、露光中も洗浄効果は当然に生じるので、これと区別するためである。

## 【0019】

照射履歴は、前回の装置停止から実際の基板の露光開始までの上記の各物理量に応じて定まるので、本請求項2の発明によれば、当該各物理量を実際に計測して照射履歴を求めることにより、正確な露光量予測関数を決定できる。

## 【0020】

この場合において、請求項3に記載の発明の如く、前記光学系の環境条件を所定時間間隔で測定し、前記透過率の時間変化予測関数の決定に際してこれらを考慮することがより望ましい。発明者等の研究により、露光装置本体が収納されたチャンバ内の温度や湿度、光学系、例えば投影光学系内のレンズ室の気圧やCO<sub>2</sub>濃度などの環境条件が、光学系の透過率の変化率に影響を与えることが判ったためである。



## 【0021】

上記請求項1～3に記載の各発明において、請求項4に記載の発明の如く、前記光学系（28A、28B、32、PL）の透過率を所定間隔で測定する工程を更に含み、前記透過率測定の都度、前記透過率時間変化予測関数を補正することがより望ましい。これは、光学系の透過率変化を完全に正確に予測することは困難なので、所定間隔で透過率変化を測定し、その間に生じた露光量予測値の誤差を該所定間隔で補正した方がより一層正確な露光量制御が可能になるからである。但し、透過率計測はスループット低下の要因となるので、透過率の測定間隔は、要求される露光精度との関係に応じて決定することが重要である。また、透過率の変化の仕方（変化率）は一様ではないので、例えば、光学系透過率の変化率が大きい期間では透過率測定間隔を短く、その反対の場合には、長くするようにしても良い。

## 【0022】

請求項5に記載の発明は、光源（16）からの露光光（EL）で照明されたパターンを光学系（28A、28B、32、PL）を用いて基板（W）上に転写する露光装置であって、前記光学系に対する露光光の照射履歴に応じて、前記光学系の透過率の時間変化予測関数を決定する演算装置（50）と；前記演算装置で決定された透過率時間変化予測関数に基づいて、露光量を予測制御する露光量制御系（50）とを備える。

## 【0023】

これによれば、演算装置により、光学系の照射履歴に即した光学系の透過率の時間変化予測関数が決定され、この決定された透過率の時間変化予測関数に基づいて、露光量制御系により露光量が予測制御されるので、露光中に頻繁に透過率測定を行うことなく、予測制御により正確な露光量制御が可能となり、像面照度（基板面照度）を常にほぼ所望の値に設定してパターンを光学系を用いて基板上に転写できる。従って、光学系の透過率変化の影響を受けることなく、高精度な露光を実現することができる。

## 【0024】

## 【発明の実施の形態】

以下、本発明の一実施形態を図 1 ないし図 4 に基づいて説明する。

【0025】

図 1 には、一実施形態の露光装置 10 の概略構成が示されている。この露光装置 10 は、露光用光源に ArF エキシマレーザ光源（発振波長 193 nm）を用いたステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置である。

【0026】

この走査型露光装置 10 は、光源 16 及び照明光学系 12 から成る照明系、この照明系からの露光光 EL により照明されるレチクル R を保持するレチクルステージ RST、レチクル R から射出された露光光 EL を基板としてのウエハ W 上に投射する投影光学系 PL、ウエハ W を保持する Z チルトステージ 58 が搭載された XY ステージ 14、及びこれらの制御系等を備えている。

【0027】

前記光源 16 は、実際には、照明光学系 12 の各構成要素及びレチクルステージ RST、投影光学系 PL、及び XY ステージ 14 等から成る露光装置本体が収納されたチャンバ 11 が設置されたクリーンルームとは別のクリーン度の低いサービスルームに配置されており、チャンバ 11 に不図示のビームマッチングユニットを介して接続されている。なお、光源として KrF エキシマレーザ光源（発振波長 248 nm）、あるいは F<sub>2</sub> エキシマレーザ光源（発振波長 157 nm）その他のパルス光源を用いても良い。

【0028】

図 2 には、光源 16 の内部が、主制御装置 50 とともに示されている。光源 16 は、レーザ共振器 16a、ビームスプリッタ 16b、エネルギーモニタ 16c、エネルギーコントローラ 16d 及び高圧電源 16e 等を有する。

【0029】

レーザ共振器 16a からパルス的に放出されたレーザビーム LB は、透過率が高く僅かな反射率を有するビームスプリッタ 16b に入射し、ビームスプリッタ 16b を透過したレーザビーム LB が外部に射出される。また、ビームスプリッタ 16b で反射されたレーザビーム LB が光電変換素子より成るエネルギーモニタ 16c に入射し、エネルギーモニタ 16c からの光電変換信号が不図示のピークホ

ールド回路を介して出力ESとしてエネルギーコントローラ16dに供給されている。

#### 【0030】

通常の発光時には、エネルギーコントローラ16dは、エネルギーモニタ16cの出力ESが、主制御装置50より供給された制御情報TS中の1パルス当たりのエネルギーの目標値に対応した値となるように、高圧電源16eでの電源電圧をフィードバック制御する。また、エネルギーコントローラ16dは、レーザ共振器16aに供給されるエネルギーを高圧電源16eを介して制御することにより発振周波数をも変更する。すなわち、エネルギーコントローラ16dは、主制御装置50からの制御情報TSに応じて光源16の発振周波数を主制御装置50で指示された周波数に設定するとともに、光源16での1パルス当たりのエネルギーが主制御装置50で指示された値となるように高圧電源16eの電源電圧のフィードバック制御を行なう。また、光源16内のビームスプリッタ16bの外側には、主制御装置50からの制御情報に応じてレーザビームLBを遮光するためのシャッタ16fも配置されている。

#### 【0031】

図1に戻り、前記照明光学系12は、ビーム整形光学系18、エネルギー粗調器20、フライアイレンズ22、照明系開口絞り板24、ビームスプリッタ26、第1リレーレンズ28A、第2リレーレンズ28B、固定レチクルブラインド30A、可動レチクルブラインド30B、光路折り曲げ用のミラーM及びコンデンサレンズ32等を備えている。

#### 【0032】

前記ビーム整形光学系18は、チャンバ11に設けられた光透過窓13を介して不図示のビームマッチングユニットに接続されている。このビーム整形光学系18は、光源16でパルス発光され光透過窓13を介して入射したレーザビームLBの断面形状を、該レーザビームLBの光路後方に設けられたフライアイレンズ22に効率良く入射するように整形するもので、例えばシリンダレンズやビームエキスパンダ（いずれも図示省略）等で構成される。

#### 【0033】

前記エネルギー粗調器 20 は、ビーム整形光学系 18 後方のレーザビーム LB の光路上に配置され、ここでは、回転板 34 の周囲に透過率（＝1－減光率）の異なる複数個（例えば 6 個）の ND フィルタ（図 1 ではその内の 2 個の ND フィルタ 36 A、36 D が示されている）を配置し、その回転板 34 を駆動モータ 38 で回転することにより、入射するレーザビーム LB に対する透過率を 100% から等比級数的に複数段階で切り換えることができるようになっている。駆動モータ 38 は、後述する主制御装置 50 によって制御される。なお、その回転板 34 と同様の回転板を 2 段配置し、2 組の ND フィルタの組み合わせによってより細かく透過率を調整できるようにしてもよい。

#### 【0034】

前記フライアイレンズ 22 は、エネルギー粗調器 20 から出たレーザビーム LB の光路上に配置され、レチクル R を均一な照度分布で照明するために多数の 2 次光源を形成する。この 2 次光源から射出されるレーザビームを以下においては、「露光光 EL」と呼ぶものとする。

#### 【0035】

フライアイレンズ 22 の射出面の近傍に、円板状部材から成る照明系開口絞り板 24 が配置されている。この照明系開口絞り板 24 には、等角度間隔で、例えば通常の円形開口より成る開口絞り、小さな円形開口より成りコヒーレンスファクタである  $\sigma$  値を小さくするための開口絞り、輪帯照明用の輪帯状の開口絞り、及び変形光源法用に複数の開口を偏心させて配置して成る変形開口絞り（図 1 ではこのうちの 2 種類の開口絞りのみが図示されている）等が配置されている。この照明系開口絞り板 24 は、後述する主制御装置 50 により制御されるモータ等の駆動装置 40 により回転されるようになっており、これによりいずれかの開口絞りが露光光 EL の光路上に選択的に設定される。

#### 【0036】

照明系開口絞り板 24 から出た露光光 EL の光路上に、反射率が小さく透過率の大きなビームスプリッタ 26 が配置され、更にこの後方の光路上に、固定レチクルブラインド 30 A 及び可動レチクルブラインド 30 B を介在させて第 1 リレーレンズ 28 A 及び第 2 リレーレンズ 28 B から成るリレー光学系が配置されて

いる。

【0037】

固定レチクルブラインド30Aは、レチクルRのパターン面に対する共役面から僅かにデフォーカスした面に配置され、レチクルR上の照明領域42Rを規定する矩形開口が形成されている。また、この固定レチクルブラインド30Aの近傍に走査方向の位置及び幅が可変の開口部を有する可動レチクルブラインド30Bが配置され、走査露光の開始時及び終了時にその可動レチクルブラインド30Bを介して照明領域42Rを更に制限することによって、不要な部分の露光が防止されるようになっている。

【0038】

リレー光学系を構成する第2リレーレンズ28B後方の露光光ELの光路上には、当該第2リレーレンズ28Bを通過した露光光ELをレチクルRに向けて反射する折り曲げミラーMが配置され、このミラーM後方の露光光ELの光路上にコンデンサレンズ32が配置されている。

【0039】

更に、照明系12内のビームスプリッタ26で垂直に折り曲げられる一方の光路上、他方の光路上には、光電変換素子よりなるインテグレータセンサ46、反射光モニタ47がそれぞれ配置されている。これらインテグレータセンサ46、反射光モニタ47としては、例えば遠紫外域で感度があり、且つ光源16のパルス発光を検出するために高い応答周波数を有するPIN型のフォトダイオード等が使用できる。

【0040】

このようにして構成された照明系12の作用を簡単に説明すると、光源16からパルス発光されたレーザビームLBは、ビーム整形光学系18に入射して、ここで後方のフライアイレンズ22に効率よく入射するようにその断面形状が整形された後、エネルギー粗調器20に入射する。そして、このエネルギー粗調器20のいずれかのNDフィルタを透過したレーザビームLBは、フライアイレンズ22に入射する。これにより、フライアイレンズ22の射出端に多数の2次光源が形成される。この多数の2次光源から射出された露光光ELは、照明系開口絞り板

24上のいずれかの開口絞りを通過した後、透過率が大きく反射率が小さなビームスプリッタ26に至る。このビームスプリッタ26を透過した露光光ELは、第1リレーレンズ28Aを経て固定レチクルブラインド30Aの矩形の開口部及び可動レチクルブラインド30Bを通過した後、第2リレーレンズ28Bを通過してミラーMによって光路が垂直下方に折り曲げられた後、コンデンサレンズ32を経て、レチクルステージRST上に保持されたレチクルR上の矩形の照明領域42Rを均一な照度分布で照明する。

【0041】

一方、ビームスプリッタ26で反射された露光光ELは、集光レンズ44を介してインテグレータセンサ46で受光され、インテグレータセンサ46の光電変換信号が、不図示のピークホールド回路及びA/D変換器を介して出力DS (digit/pulse)として主制御装置50に供給される。このインテグレータセンサ46の出力DSと、ウエハWの表面上での露光光ELの照度（露光量）との相関係数は予め求められて、主制御装置50に併設されたメモリ51内に記憶されている。

【0042】

また、レチクルR上の照明領域42Rを照明しそのレチクルのパターン面（図1における下面）で反射された反射光束は、コンデンサレンズ32、リレー光学系を前と逆向きに通過し、ビームスプリッタ26で反射され、集光レンズ48を介して反射光モニタ47で受光される。この反射光モニタ47の光電変換信号が、不図示のピークホールド回路及びA/D変換器を介して主制御装置50に供給される。反射光モニタ47は、本実施形態では、主として後述するレチクルRの透過率の事前測定の際に用いられる。

【0043】

前記レチクルステージRST上にレチクルRが載置され、不図示のバキュームチャック等を介して吸着保持されている。レチクルステージRSTは、水平面（XY平面）内で微小駆動可能であるとともに、レチクルステージ駆動部48によって走査方向（ここでは図1の紙面左右方向であるY方向とする）に所定ストローク範囲で走査されるようになっている。この走査中のレチクルステージRST

の位置は、レチクルステージ RST 上に固定された移動鏡 52R を介して外部のレーザ干渉計 54R によって計測され、このレーザ干渉計 54R の計測値が主制御装置 50 に供給されるようになっている。

## 【0044】

なお、レチクル R に用いる材質は、使用する光源によって使い分ける必要がある。すなわち、KrF 光源や ArF 光源を光源とする場合は、合成石英を用いることができるが、F<sub>2</sub> 光源を用いる場合は、ホタル石で形成する必要がある。

## 【0045】

前記投影光学系 PL は、両側テレセントリックな光学配置になるように配置された共通の Z 軸方向の光軸 AX を有する複数枚のレンズエレメントから構成されている。また、この投影光学系 PL としては、投影倍率  $\beta$  が例えば 1/4 や 1/5 などのものが使用されている。このため、前記の如くして、露光光 EL によりレチクル R 上の照明領域 42R が照明されると、そのレチクル R に形成されたパターンが投影光学系 PL によって投影倍率  $\beta$  で縮小された像が表面にレジスト（感光剤）が塗布されたウエハ W 上のスリット状の露光領域 42W に投影露光される。

## 【0046】

なお、露光光 EL として KrF エキシマレーザ光や ArF エキシマレーザ光を用いる場合には、投影光学系 PL を構成する各レンズエレメントとしては合成石英等を用いることができるが、F<sub>2</sub> エキシマレーザ光を用いる場合には、この投影光学系 PL に使用されるレンズの材質は、全てホタル石が用いられる。

## 【0047】

前記 XY ステージ 14 は、ウエハステージ駆動部 56 によって走査方向である Y 方向及びこれに直交する X 方向（図 1 における紙面直交方向）に 2 次元駆動されるようになっている。この XY ステージ 14 上に搭載された Z チルトステージ 58 上に不図示のウエハホルダを介してウエハ W が真空吸着等により保持されている。Z チルトステージ 58 は、ウエハ W の Z 方向の位置（フォーカス位置）を調整すると共に、XY 平面に対するウエハ W の傾斜角を調整する機能を有する。また、XY ステージ 14 の位置は、Z チルトステージ 58 上に固定された移動鏡

52Wを介して外部のレーザ干渉計54Wにより計測され、このレーザ干渉計54Wの計測値が主制御装置50に供給されるようになっている。

【0048】

また、Zチルトステージ58上には、投影光学系PLを通過した露光光ELの光量を検出するための光センサとしての照射量モニタ59がその受光面をほぼウエハWの表面と同一高さとして設置されている。なお、照射量モニタに代えて、照度計、ピンホールセンサから成る照射ムラセンサ、フォトクロミック、空間像計測器等の他のセンサを設けても良い。

【0049】

更に、本実施形態では、投影光学系PLの内部のレンズ室内の所定の物理量を計測する内部環境センサ53と、投影光学系PLの外部であってチャンバ11内の所定の物理量を計測する外部環境センサ49とが設けられている。ここでは、内部環境センサ53は、レンズ室内の気圧を計測する圧力センサとCO<sub>2</sub>濃度を計測するガスセンサとから成る複合センサが用いられ、また、外部環境センサ49としては、チャンバ11内の温度を計測する温度センサと湿度を計測する湿度センサとから成る複合センサが用いられるものとする。これら外部環境センサ49、内部環境センサ53の出力は主制御装置50に供給されるようになっている。

【0050】

制御系は、図1中、主制御装置50によって主に構成される。主制御装置50は、CPU（中央演算処理装置）、ROM（リード・オンリ・メモリ）、RAM（ランダム・アクセス・メモリ）等から成るいわゆるマイクロコンピュータ（又はワークステーション）を含んで構成され、露光動作が的確に行われるように、例えばレチクルRとウエハWの同期走査、ウエハWのステッピング、露光タイミング等を統括して制御する。また、本実施形態では、主制御装置50は、後述するように走査露光の際の露光量の制御も行う。

【0051】

具体的には、主制御装置50は、例えば走査露光時には、レチクルRがレチクルステージRSTを介して+Y方向（又は-Y方向）に速度V<sub>r</sub>=Vで走査され



るのに同期して、XYステージ14を介してウエハWが露光領域42Wに対して-Y方向（又は+Y方向）に速度 $V_w = \beta \cdot V$ （ $\beta$ はレチクルRからウエハWに対する投影倍率）で走査されるように、レーザ干渉計54R、54Wの計測値に基づいてレチクルステージ駆動部48、ウエハステージ駆動部56をそれぞれ介してレチクルステージRST、XYステージ14の位置及び速度をそれぞれ制御する。また、ステッピングの際には、主制御装置50ではレーザ干渉計54Wの計測値に基づいてウエハステージ駆動部56を介してXYステージ14の位置を制御する。

## 【0052】

また、主制御装置50では、上記の走査露光時には、露光条件及びレジスト感度に応じて決定された目標積算露光量をウエハWに与えるため、インテグレータセンサ46の出力をモニタしつつ制御情報TSを光源16に供給することによって、光源16の発振周波数（発光タイミング）、及び発光パワー等を制御したり、あるいは、エネルギー粗調器20をモータ38を介して制御することにより、レチクルRに照射される光量の調整を行う。また、主制御装置50では、照明系開口絞り板24を駆動装置40を介して制御し、更にステージ系の動作情報に同期して可動レチクルブラインド30Bの開閉動作を制御する。

## 【0053】

このように本実施形態では、主制御装置50が、露光コントローラ（露光量制御系）及びステージコントローラ（ステージ制御系）の役目をも有している。これらのコントローラを主制御装置50とは別に設けても良いことは勿論である。

## 【0054】

次に、上述のようにして構成された露光装置10において、装置の運転を停止してから、次に装置の運転を開始して所定枚数（M枚、例えば $M=100$ とする）のウエハW上にレチクルパターンの露光を行い、再び装置の運転を停止するまでのシーケンスについて、図3及び図4のフローチャートに沿って説明する。

## 【0055】

ここで、主制御装置50は、第1プロセッサ、第2プロセッサ及び第3プロセッサの3つのプロセッサを中心に構成されているものとする。この内、第2プロ

セッサは、所定時間 $\Delta t$ 、例えば1分間隔で前述した外部環境センサ49、内部環境センサ53、インテグレータセンサ46等の計測値を繰り返しサンプリングし、メモリ51の所定の領域にサンプリング時刻とともに記録する機能を有する。また、第3プロセッサは、後述する露光時に、所定時間 $\Delta t$ 1間隔で光学系の透過率の時間変化の予測値を算出する機能を有する。第1プロセッサは、図3及び図4のフローチャートで示す制御アルゴリズムに沿って処理を行うメインのプロセッサである。

#### 【0056】

まず、ステップ100で装置の運転が停止されると、ステップ102に進んで装置の運転が停止された時点の不図示のタイマーによる計測時刻を取り込んでRAMの一時格納領域に格納することにより、運転停止経過時間の計測及び停止中のチャンバ11内の温度、湿度、及びレンズ室内の気圧、 $\text{CO}_2$ 濃度の計測を開始する。

#### 【0057】

次のステップ104では、運転開始指示が入力されるのを待つ。この運転停止期間中も前述した第2プロセッサによって1分間隔で外部環境センサ49、内部環境センサ53の計測値がその時刻とともにメモリ51に記憶されている。そして、運転開始指示が入力されると、ステップ106に進んで、運転停止経過時間の計測及び停止中のチャンバ11内の温度、湿度、及びレンズ室内の気圧、 $\text{CO}_2$ 濃度の計測を終了する。具体的には、運転開始指示が入力された時点の不図示のタイマーによる計測時刻を取り込んでRAMの一時格納領域に格納し、ステップ102で取り込んだ時刻と当該ステップ106で取り込んだ時刻のデータ及びこれらの時刻間に対応する、外部環境センサ49、内部環境センサ53の計測値をメモリ51内から読み出し、RAM内の所定領域（以下、「第1の計測データ保存領域」と呼ぶ）に保存する。

#### 【0058】

次のステップ108では、照射量モニタ59が投影光学系PLの直下に位置するようにXYステージ14を移動した後、光源16からのレーザ発振を開始し、シャッタ16fを開成して、自己洗浄（慣らし運転）を開始する。これと同時に

、ステップ110において自己洗浄が開始された時点の不図示のタイマーによる計測時刻を取り込んでRAMの一時格納領域に格納することにより、自己洗浄時の経過時間の計測及び各種センサによる計測を開始する。ここで、自己洗浄を行うのは、光学系の透過率変化は光学系に対する露光光の照射量が大きくなるほど小さくなるので、自己洗浄を行なうことにより露光時における光学系の透過率変化を小さくできるからである。

【0059】

次のステップ112では、自己洗浄が終了するのを待つ。この自己洗浄終了の判断は、次のようにして行われる。すなわち、自己洗浄中は、インテグレータセンサ46の出力と照射量モニタ59の出力との比の変動量を計測し、該変動量がなくなった時点又は変動量が所定レベルに達した時点で自己洗浄終了と判断する。また、この自己洗浄期間中、前述した第2プロセッサによって1分間隔で、インテグレータセンサ46、外部環境センサ49、内部環境センサ53の計測値がその時刻とともにメモリ51に記憶される。

【0060】

上記のようにして自己洗浄終了と判断すると、ステップ114に進んでシャッタ16fを閉成するとともに自己洗浄の終了を不図示のディスプレイに表示した後、ステップ116に進んで自己洗浄経過時間の計測及び自己洗浄中の各種センサによる計測を終了する。具体的には、シャッタ16fを閉成した時点の不図示のタイマーによる計測時刻を取り込んでRAMの一時格納領域に格納し、ステップ110で取り込んだ時刻と当該ステップ116で取り込んだ時刻のデータ及びこれらの時刻間に対応する、インテグレータセンサ46、外部環境センサ49、内部環境センサ53の計測値をメモリ51内から読み出し、RAM内の所定領域（以下「第2の計測データ保存領域」と呼ぶ）に保存する。

【0061】

次のステップ118では露光条件が入力されるを待つ。そして、オペレータによりコンソール等の入出力装置62（図1参照）から照明条件（投影光学系の開口数（N.A.）、コヒーレンスファクタ $\sigma$ 値やレチクルパターンの種類（コンタクトホール、ラインアンドスペース等）、レチクル透過率、レチクルの種類（

位相差レチクル、ハーフトーンレチクル等)、及び最小線幅又は露光量許容誤差などを含む露光条件が入力されると、ステップ120に進み、投影光学系PLの不図示の開口絞りの設定、照明系開口絞り板24の開口の選択設定、エネルギー粗調器20の減光フィルタの選択、レジスト感度に応じた目標積算露光量の設定等を行い、更にレチクルロード、レチクルアライメント、ベースライン計測等の一連の準備作業を行った後、ステップ122の露光処理のサブルーチンへ移行する。ここで、レチクル透過率は、予め次のようにして計測されている。すなわち、光源16をパルス発光させるとともにシャッタ16fを開成して、露光光ILによりレチクルRを照射し、そのときのインテグレータセンサ46と、反射光モニタ47との出力を取り込み、両者の比に所定の相関係数を乗じ、これを1から減じて100倍することによってレチクルRの透過率(%)を求めている。このとき、XYステージ14は、投影光学系PLの直下と離れた所定のローディングポジションにあり、投影光学系PLの直下に存在しないので、投影光学系PLより下方側からの反射光は、無視できる程度に小さいものとする。

#### 【0062】

ステップ122のサブルーチンでは、図4に示されるように、ステップ128において、RAM内の第1、第2の計測データ保存領域のデータとその時の露光条件とに基づいて光学系(リレーレンズ28A、28B、コンデンサレンズ32、投影光学系PLから成る光学系)の透過率時間変化予測関数を決定し、この決定した予測関数を第3プロセッサに与える。上記の予測関数の決定は、具体的には、RAM内の第1、第2の計測データ保存領域のデータを用いて光学系に対する露光光の照射履歴を求め、この照射履歴と装置運転停止中及び自己洗浄中の各種センサの計測値とに基づいて、例えば次式(1)のパラメータaを決定するとともに、ステップ118で入力された露光条件に基づいて次式(1)のパラメータ $b_i$  ( $i=1, 2, \dots, k$ )を決定することにより行われる。

#### 【0063】

【数 1】

$$T = a \cdot \exp \left( \sum_{i=1}^k b_i t \right) \quad \dots \dots (1)$$

【0064】

但し、T：光学系透過率、すなわち、光源から射出される露光光の照度と光学系を通過した基板面上の露光光の照度との比

a：変化率を表すパラメータ

$b_i$ ：減光率、コヒーレンスファクタ $\sigma$ 値等の照明条件を含む各露光条件に依存するパラメータ

【0065】

次のステップ130では、後述するウエハ露光処理枚数を示す第1カウンタのカウント値mを「1」、透過率測定間隔に対応するウエハ枚数を示す第2カウンタのカウント値nを「0」に初期設定する。ここでは、透過率測定は1ロットすなわち25枚のウエハの露光終了毎に行われる、すなわち後述するN=25に設定されているものとする。

【0066】

次のステップ132では、光学系の透過率測定を次のようにして行う。すなわち、照射量モニタ59が投影光学系PLの直下に位置するように、XYステージ14をウエハステージ駆動部56を介して駆動し、シャッタ16fを開成してこのときのインテグレータセンサ46の出力と、照射量モニタ59の出力との比を100倍し且つ所定の係数を乗じることによって行う。なお、照射量モニタ59に代えてムラセンサを用いる場合には、ムラセンサを投影光学系PLの光軸上に位置決めして透過率測定を行う必要がある。

【0067】

次のステップ134では、透過率の測定結果を第3プロセッサに与えるとともに透過率時間変化の予測計算の開始を指示する。これにより、第3プロセッサでは、その与えられた透過率を初期値として、所定時間 $\Delta t_1$ 毎の透過率時間変化

の予測計算を開始する。その計算結果は、第3プロセッサによってメモリ51内の所定領域（便宜上、「透過率データ格納領域」と呼ぶ）に順次更新しながら格納されるものとする。

【0068】

次のステップ136では、不図示のウエハ搬送系にウエハWの交換を指示する。これにより、ウエハ搬送系及びXYステージ上の不図示のウエハ受け渡し機構によってウエハ交換（ステージ上にウエハが無い場合は、単なるウエハロード）が行われ、次のステップ138でいわゆるサーチアライメント、ファインアライメント（EGA等）等の一連のアライメント工程の処理が行われる。これらのウエハ交換、ウエハアライメントは、公知の露光装置と同様に行われるので、ここではこれ以上の詳細な説明は省略する。

【0069】

次のステップ140では、その時点における最新の透過率の予測計算値をメモリ51内の透過率データ格納領域から読み出して、その透過率に基づいて露光量制御目標値を更新する。そして、次のステップ142に進んで、上記ステップ138のアライメント結果及び所定のショットマップデータに基づいて、ウエハW上の各ショット領域の露光のための走査開始位置にウエハWを移動させる動作と、前述した走査露光動作とを繰り返し行って、ステップ・アンド・スキャン方式でウエハW上の複数のショット領域にレチクルパターンを転写する。この走査露光中に、透過率と露光量制御目標値とに基づいて、前述した如くして露光量制御が行われる。

【0070】

このようにして、第m枚目（ここでは、第1枚目）のウエハWに対する露光が終了すると、ステップ144に進んで、前述した第1カウンタのカウント値m、第2カウンタのカウント値nをそれぞれ1インクリメント（ $n \leftarrow n + 1$ 、 $m \leftarrow m + 1$ ）する。

【0071】

次のステップ146では、カウント値mが予定処理枚数Mを超えたか否かを判断する。第1枚目のウエハWの露光が終了した時点では、 $m = 2$ であるから当然

にこの判断は否定され、ステップ148に進んでカウント値 $n$ が $N$ 、すなわち25であるか否かを判断する。第1枚目の露光が終了した時点では、 $n=1$ であるからこの判断は否定され、ステップ136に戻って以後上記処理・判断を繰り返す。

【0072】

そして、第25枚目のウエハの露光が終了すると、 $n=25=N$ となって、ステップ148の判断が肯定され、ステップ150に進んで第2カウンタをリセット( $n \leftarrow 0$ )した後、ステップ132に戻り、前述と同様にして光学系の透過率測定を行い、その測定結果を第3プロセッサに初期値として与えるとともに透過率時間変化の予測計算の開始を指示する。このように、本実施形態では、ウエハ1ロットの露光終了毎に計測された透過率の計測データを第3プロセッサに初期値として与えることにより、計算による透過率予測結果のずれを補正する。

【0073】

その後、上記の処理・判断を繰り返して、ウエハ25枚露光する度毎に、光学系の透過率測定を繰り返し行いつつ、 $M$ 枚目のウエハ $W$ に対する露光が終了すると、ステップ146の判断が肯定されて、図3のメインルーチンのステップ100にリターンする。このステップ100における装置の運転停止とは、光源16をオフするとともに、第3プロセッサに計測終了の指示を与えることを意味し、第3プロセッサではこの指示により透過率時間変化の予測計算を終了する。

【0074】

これまでの説明から明らかなように、本実施形態では、主制御装置50の機能によって、露光量制御系及び演算装置が実現されている。

【0075】

以上説明したように、本実施形態によると、光学系(リレーレンズ28A、28B、コンデンサレンズ32、投影光学系PLから成る光学系)に対する露光光の照射履歴、現実の露光条件に即した光学系の透過率の時間変化予測関数が決定され、この決定された透過率の時間変化予測関数に基づいて、露光量が予測制御されるので、予測制御により像面照度(ウエハ面照度)を常にほぼ所望の値に設定してレチクルRのパターンを光学系を用いてウエハW上に転写できる。従って

、光学系の透過率変化の影響を受けることなく、高精度な露光を実現することができる。

【0076】

また、1ロットの露光終了毎に、透過率の測定を実行しているので、毎ウェハの露光前に透過率測定を行って透過率の時間変化特性を決定する場合等に比べて、スループットを高く維持することができる。さらに、透過率の測定の都度、透過率時間変化予測結果を補正しているので、完全に透過率を計算で求める場合と異なり、透過率測定の間生じた露光量予測値の誤差が1ロット毎に補正され一層正確な露光量制御が可能になっている。

【0077】

なお、上記実施形態では、露光量の制御方法として、走査露光時に、露光条件及びレジスト感度に応じて決定された目標積算露光量をウェハWに与えるため、光源16の発振周波数（発光タイミング）、及び発光パワー等を制御したり、あるいは、エネルギー粗調器20による減光率を調整する場合について説明したが、走査型露光装置の場合には、その走査露光の際に、光源16のパワーを一定に保ったまま、かつレチクルステージRSTとXYステージ14との速度比を保ったまま、その走査速度を変化させることによっても露光量の調整を行うことが可能である。あるいは、照明光学系12内の可動レチクルブラインド30Bを制御し、照明領域42Rの走査方向の幅（いわゆるスリット幅）を変化させることによっても露光量制御を実現することができる。あるいは走査速度の調整とスリット幅の調整とを組み合わせ、露光量の調整を行うことも可能である。

【0078】

いずれにしても、投影光学系PL等の透過率変化によって、ウェハ面の照度が影響を受けるので、この影響を相殺して常に目標積算露光量がウェハWに与えられるように、露光量制御目標値（パルス発振周波数、パルスエネルギー、減光率、走査速度、スリット幅等の制御目標値）を更新すれば良い。

【0079】

なお、上記実施形態では、主制御装置50が第1プロセッサ、第2プロセッサ及び第3プロセッサとを含んで構成される場合について説明したが、主制御装置



を構成するマイクロコンピュータ又はワークステーションによるマルチタスク処理、あるいは時分割処理にて、上記第1～第3プロセッサの機能を、その管理下にあるステージコントローラ、露光コントローラ、レンズコントローラ等を用いて実現するようにしても良いことは勿論である。

【0080】

ところで、上記実施形態では、1ロット毎に光学系の透過率測定が繰り返される場合について説明したが、連続して露光が行われる場合には、投影光学系PL等の透過率変化の態様は一樣ではないため、この透過率の変化の態様に応じて光学系透過率測定の間隔を自動的に変更するようにしても良い。

【0081】

また、上記実施形態では、1ロット25枚としたが、50枚、100枚としても良い。

【0082】

なお、上記実施形態では、露光光の照射履歴と設定された露光条件に応じて光学系の透過率の時間変化予測関数を決定したが、自己洗浄時の露光条件と、露光開始後の露光条件が同じ条件であれば、露光条件を考慮せず、照射履歴に応じて時間変化予測関数を決定しても良い。

【0083】

なお、本発明の露光装置は、上記実施形態でも説明したように、光学系の透過率変化の影響を受けることなく、スループットを可能な限り維持しつつ、高精度な露光を実現できるように、露光装置を構成する各構成要素を、電氣的、機械的又は光学的に連結して組み上げられる。

【0084】

また、上記実施形態では、本発明がステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置に適用された場合について説明したが、本発明の適用範囲がこれに限定されることはなく、ステッパ等の静止露光型露光装置にも好適に適用できるものである。

【0085】

【発明の効果】

以上説明したように、請求項 1～4 に記載の各発明によれば、スループットを不必要に低下させることなく、像面照度を常にほぼ所望の値に設定することができる露光量制御方法を提供することができる。

【0086】

また、請求項 5 に記載の発明によれば、光学系の透過率変化の影響を受けることなく、高精度な露光を実現することができるという優れた露光装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

第 1 の実施形態の露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図 2】

図 1 の光源の内部構成を示す図である。

【図 3】

装置運転停止から、次に装置の運転を開始して所定枚数（M 枚）のウエハ W 上にレチクルパターンの露光を行い、再び装置の運転を停止するまでのシーケンスを示すフローチャートである。

【図 4】

図 3 のステップ 122 のサブルーチンを示すフローチャートである。

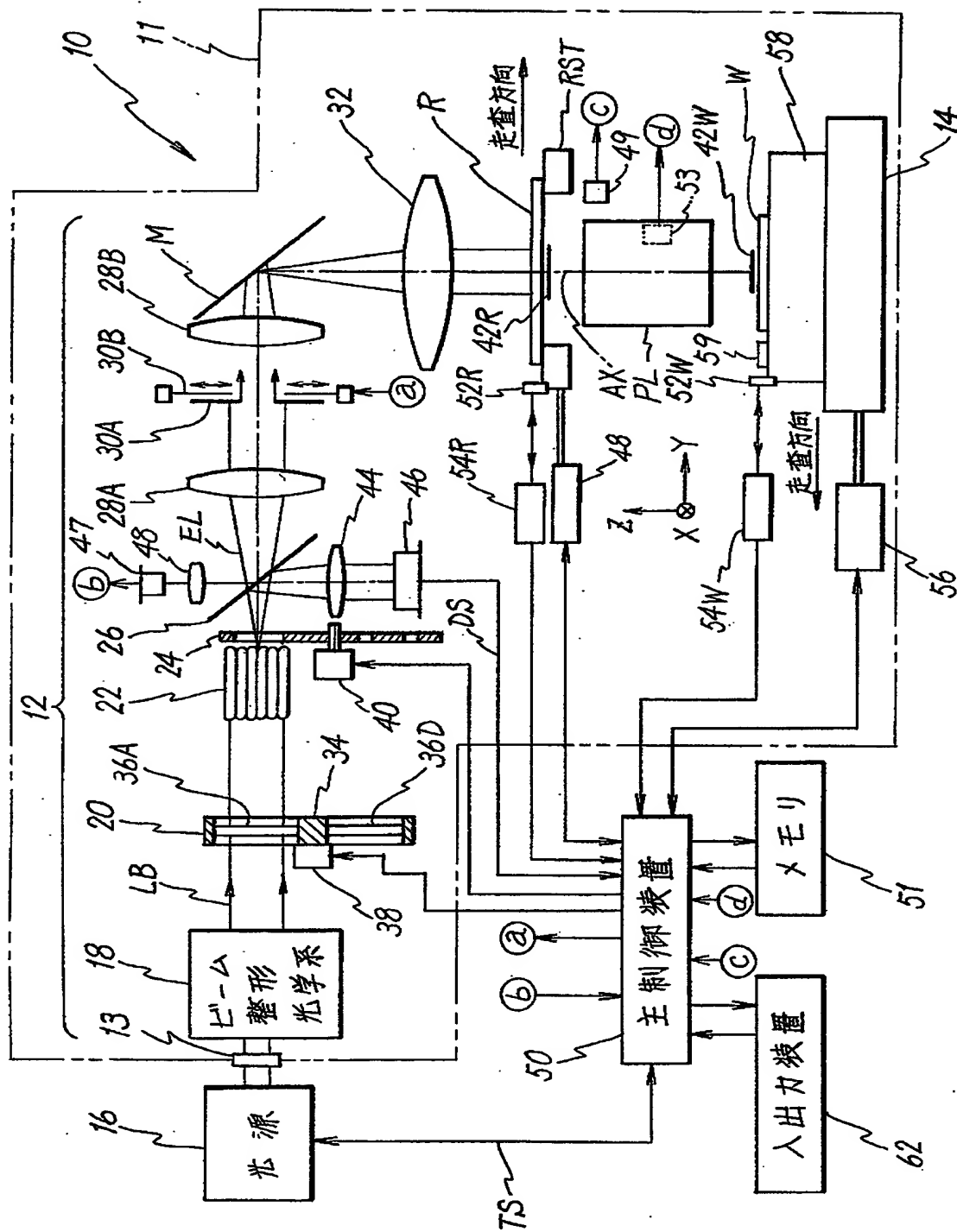
【符号の説明】

10…露光装置、16…光源、28A…リレーレンズ（光学系の一部）、28B…リレーレンズ（光学系の一部）、32…コンデンサレンズ（光学系の一部）、50…主制御装置（露光量制御系、演算装置）、EL…露光光、W…ウエハ（基板）、PL…投影光学系（光学系の一部）。

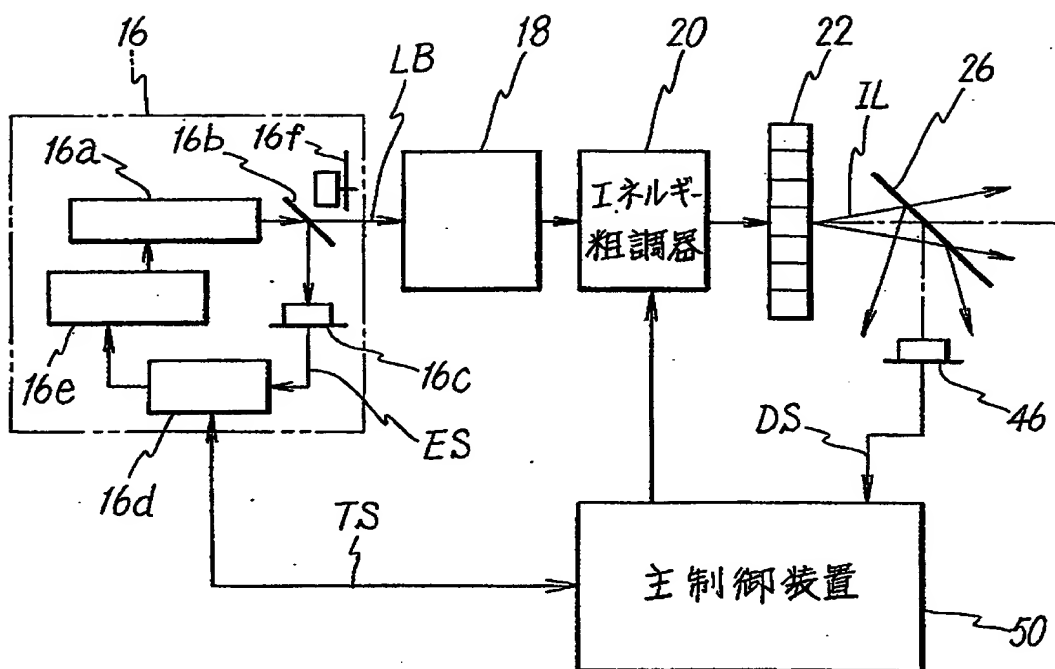
【書類名】

図面

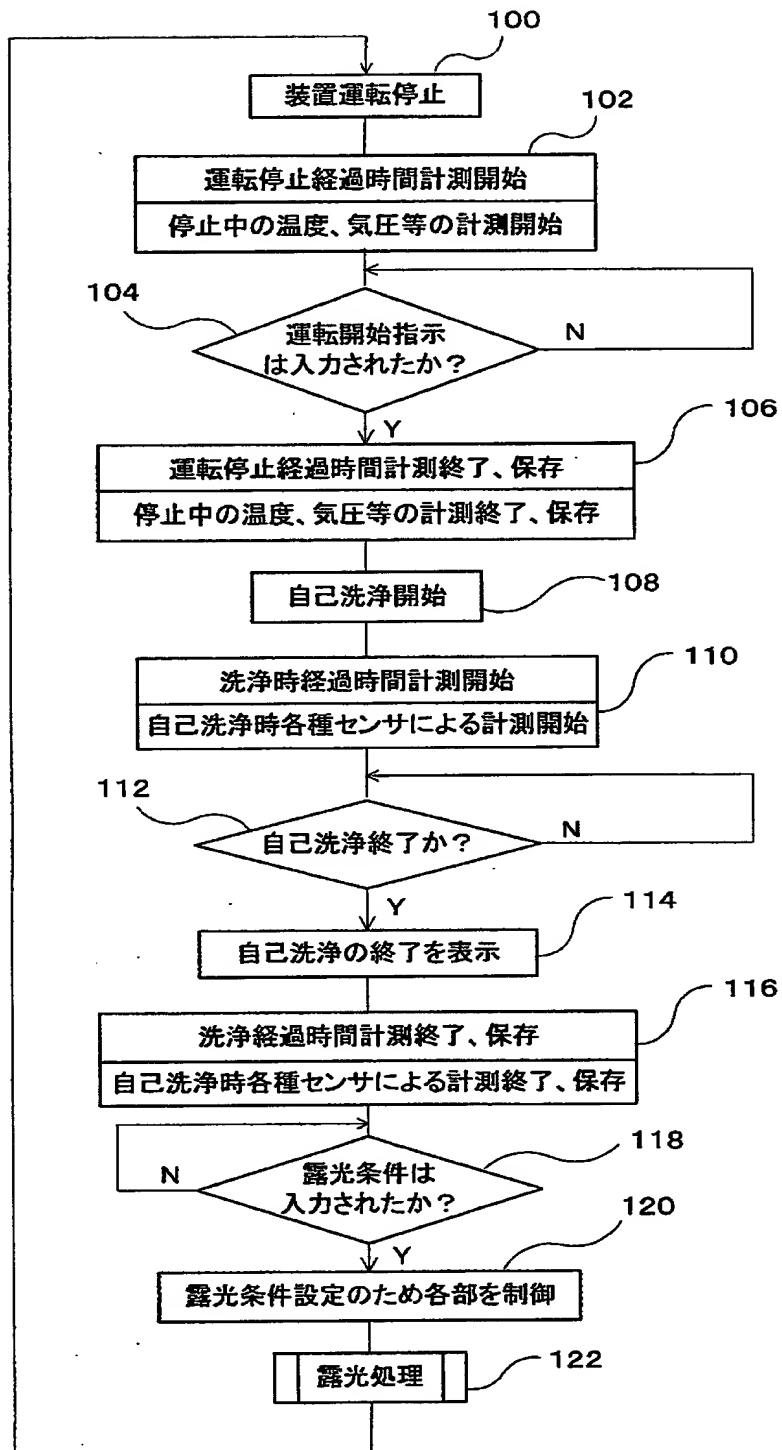
【図 1】



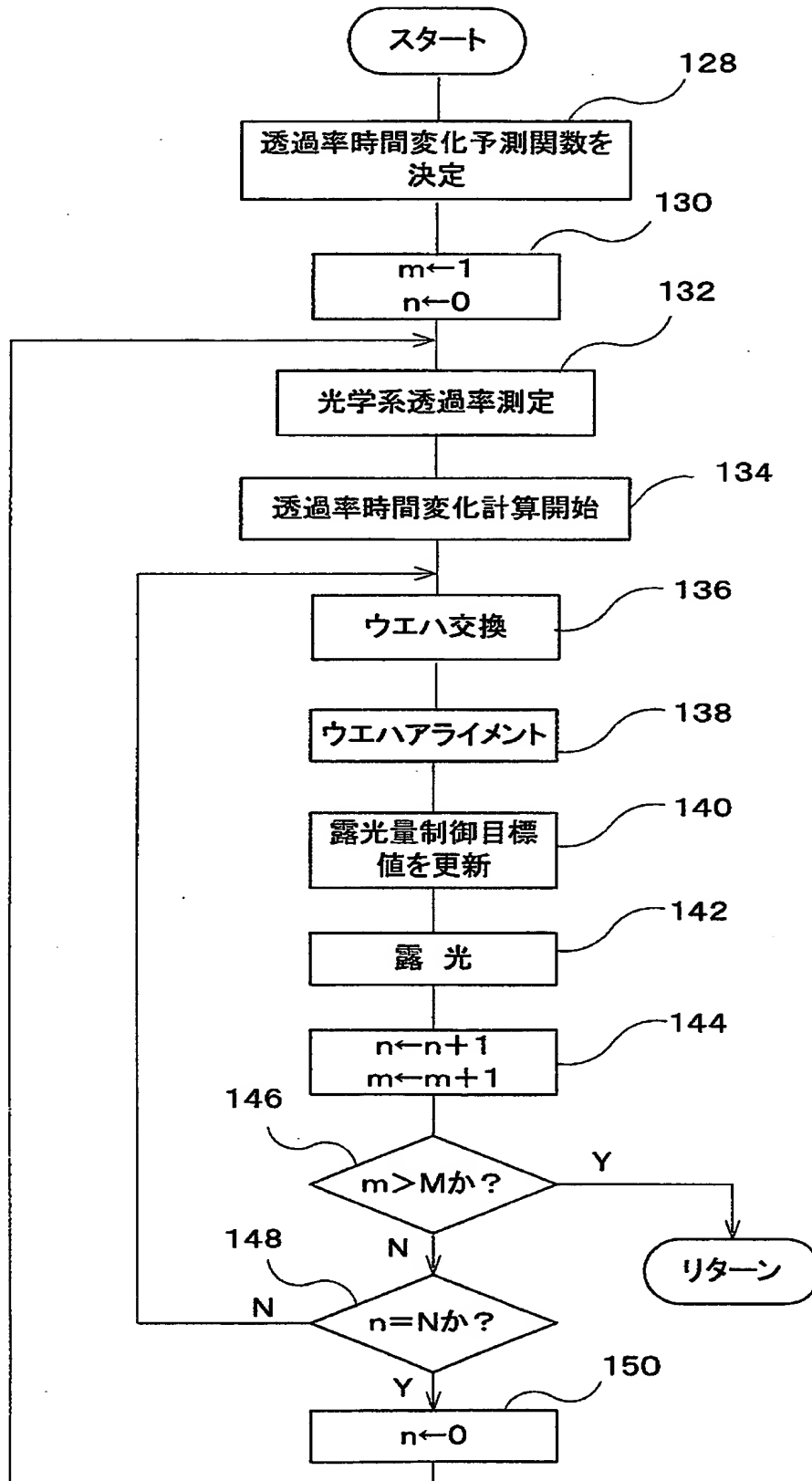
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 スループットを不必要に低下させることなく、像面照度を常にほぼ所望の値に設定する。

【解決手段】 光学系の透過率の変化率（変動率）が依存する光学系に対する露光の照射履歴、現実の露光条件に即した光学系の透過率の時間変化予測関数を決定する（ステップ128）。この決定した透過率の時間変化予測関数に基づいて、透過率の変化を演算にて求め、露光量を予測制御する（ステップ140）。このため、露光中に頻繁に透過率測定を行うことなく、予測制御により正確な露光量制御が可能となり、結果的にスループットを不必要に低下させることなく、像面照度（基板面照度）を常にほぼ所望の値に設定できる。

【選択図】 図4

【書類名】 職権訂正データ  
【訂正書類】 特許願

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】  
【識別番号】 000004112  
【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号  
【氏名又は名称】 株式会社ニコン  
【代理人】 申請人  
【識別番号】 100102901  
【住所又は居所】 東京都新宿区新宿 5-1-15 新宿MMビル 立  
石・川北国際特許事務所  
【氏名又は名称】 立石 篤司  
【代理人】 申請人  
【識別番号】 100099793  
【住所又は居所】 東京都新宿区新宿 5-1-15 新宿MMビル 立  
石・川北国際特許事務所  
【氏名又は名称】 川北 喜十郎



出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004112]

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
氏 名	株式会社ニコン